



(43) 国際公開日
2002 年 4 月 18 日 (18.04.2002)

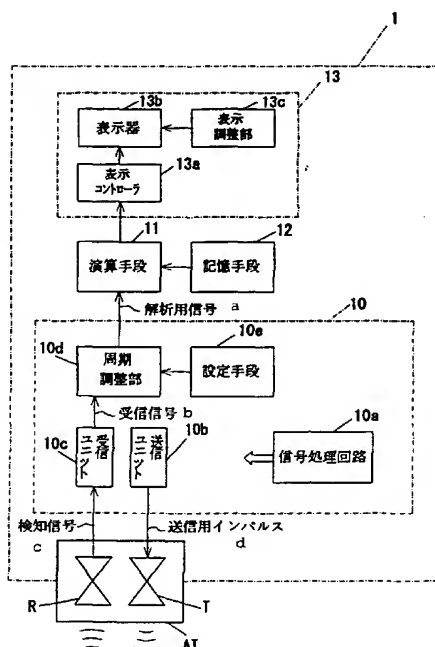
PCT

(10) 国際公開番号
WO 02/31537 A1

- | | | |
|---|--------------------------------|--|
| (51) 国際特許分類: | G01V 3/12, G01S 13/88 | (72) 発明者: 藤原正弘 (FUJIWARA, Masahiro); 〒674-0094 兵庫県明石市二見町西二見570番地2 株式会社 コス内 Hyogo (JP). |
| (21) 国際出願番号: | PCT/JP01/07328 | (74) 代理人: 村上太郎 (MURAKAMI, Taro); 〒530-0044 大阪府大阪市北区東天満2丁目10番17号 マツイビル5階 Osaka (JP). |
| (22) 国際出願日: | 2001 年8 月27 日 (27.08.2001) | (81) 指定国 (国内): AU, CA, CN, JP, KR, NO, RU, SG, US. |
| (25) 国際出願の言語: | 日本語 | (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR). |
| (26) 国際公開の言語: | 日本語 | 添付公開書類:
— 国際調査報告書 |
| (30) 優先権データ:
特 願 2000-312145 | 2000 年10 月12 日 (12.10.2000) JP | |
| (71) 出願人: 株式会社 コス (COS CO., LTD.) [JP/JP]; 〒674-0094 兵庫県明石市二見町西二見570番地2 Hyogo (JP). | | 2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。 |

(54) Title: METHOD FOR CALIBRATING RELATIVE PERMITTIVITY OF ELECTROMAGNETIC DETECTOR AND ELECTROMAGNETIC DETECTOR

(54) 発明の名称: 電磁波探査機の比誘電率校正方法および電磁波探査機



- ```

13b...DISPLAY
13c...DISPLAY ADJUSTING SECTION
13a...DISPLAY CONTROLLER
11...ARITHMETIC MEANS
12...STORAGE MEANS
a...ANALYSIS SIGNAL
10d...PERIOD ADJUSTING SECTION
10e...SETTING MEANS
b...RECEPTION SIGNAL
10c...RECEPTION UNIT
10b...TRANSMISSION UNIT
10a...SIGNAL PROCESSING CIRCUIT
c...DETECTION SIGNAL
d...TRANSMISSION IMPULSE

```

**(57) Abstract:** A method for readily calibrating the relative permittivity of a electromagnetic detector before detection, and an electromagnetic detector using the relative permittivity calibration method are disclosed. An electromagnetic detector (1) comprising a transmission antenna (T) for radiating an electromagnetic wave,

〔続葉有〕



a reception antenna (R) for receiving a reflected wave of the radiated electromagnetic wave, a reception unit for generating a reception signal in response to a detection signal from the reception antenna (R), and a signal processing unit (10) for processing the reception signal and outputting an analysis signal in which the signal processing unit (10) has a period adjusting section (10d) for converting the reception signal to the analysis signal having a different signal period by frequency conversion, and the period adjusting section (10d) has a setting means (10e) such as a variable capacitor for setting a frequency conversion constant, wherein the setting means (10e) is adjusted so that the period of the analysis signal when an electromagnetic wave is radiated into the air from the transmission antenna (T) may agree with the reference time  $t$  predetermined according to a reference relative permittivity.

(57) 要約:

本発明は、探査に先だって比誘電率の校正を容易に行うことのできる電磁波探査機の比誘電率校正方法、および、この比誘電率校正方法を用いた電磁波探査機を提供することを目的としている。

電磁波を輻射する送信アンテナ T と、輻射された電磁波の反射波を受信する受信アンテナ R と、受信アンテナ R の検知信号に基づいて受信信号を生成する受信ユニットと、その受信信号を処理して解析用信号を出力する信号処理部 10 とを備え、信号処理部 10 は周波数変換によって受信信号を信号周期の異なる解析用信号に変換する周期調整部 10d を有し、周期調整部 10d は周波数変換定数を設定するための可変コンデンサ等の（設定手段 10e）を有する電磁波探査機 1 において、送信アンテナ T から電磁波を対空輻射したときの解析用信号の周期が、基準比誘電率に応じて予め定められた基準時間  $t$  と一致するように、設定手段 10e を調節する。

## 明 細 書

## 電磁波探査機の比誘電率校正方法および電磁波探査機

## 5 技術分野

本発明は電磁波探査機の比誘電率校正方法および電磁波探査機に係り、更に詳しくは、探査現場で正確にしかも容易に比誘電率の校正を行い得る新規な技術に関する。

## 10 背景技術

従来より、アンテナから電磁波を輻射し、物体からの反射波を受信解析して探査を行う電磁波探査機が開発され、埋設管や地雷などの埋設物探査を目的として用いられている。

このような電磁波探査機は、アンテナから所定周期毎に高周波の電磁波を輻射し、その反射波を受信解析して物体までの距離を求めると共に、電磁波の通過した物体の物性を判別するもので、探査対象を非破壊測定するものである。

一般に、探査機では探査結果を種々のモードで表示させることができる。例えば、図 1 1 に示すように、ある探査位置における一つの受信信号を、横軸を時間軸、縦軸を振幅軸とした画面に受信波形として表示させることができる。或いは、探査対象の水平方向に所定間隔の複数の探査位置におけるそれぞれの受信信号を記憶保持しておき、これら複数の受信信号に所定の信号処理を施すことにより、縦軸を深度、横軸を探査位置（走査回数）とする探査対象の 2 次元の断面画像（若しくは、パルスエコー像）を生成し、この断面画像を図 1 2 に示すように表示することができる。なお、上記信号処理には、パルス圧縮処理（pulse compression process）や、合成開口処理（synthetic aperture process）などを例示できる。

探査に際しては、気温や湿度等の各種の条件によって高周波回路の特性が変化

するため、事前に受信波形に基づいて手動や自動で探査機の校正や設定などを行っておくことが、精密な探査を行うために不可欠である。

ところで、受信信号に基づいて図 1 1 や図 1 2 に示す画像表示を行う場合、受信信号の起点を明確にする必要がある。仮に、図 1 1 に示す受信信号の起点が変動すると地表面の反射波 P や埋設物による反射波 P 1 が時間軸方向へ変動し、これに起因して、図 1 2 の断面画像上で深度軸方向へ d の変動が発生する。このため、複雑な断面画像となるうえ埋設物の正確な深度や物性判別ができない。

そこで、従来の探査機では図 1 1 に示す受信信号における表面波 P の特定点（例えば、振幅の第 1 ピーク点） $P_0$  を受信起点として捕捉し、捕捉した受信起点  $P_0$  に基づいて自動的にトラッキング処理を行う自動トラッキング機能を有したものが  
10 多い。

また、近時の探査機の傾向として、地雷探査、埋設物探査あるいは壁面探査など探査目的に応じて特化された専用機が多く、前記した自動トラッキング機能などを装備して測定に際しての面倒な調整や校正などを極力除いたものが多い。

ところが、従来の探査機では、アンテナから輻射される電磁波が非常に広帯域であって、多数の高調波や低調波が含まれるため、受信信号にも同様に広帯域の周波数成分が多数含有され、該受信信号は複雑な波形を呈していた。このため、表面波 P の第 1 ピーク点  $P_0$  を的確に捕らえることができずに誤った点を捕捉するような不具合が生じ、安定した探査を行うための自動トラッキング機能が逆に  
15 不安定要素を生み出す要因となっていた。

また、自動トラッキング回路が周囲の温度変動や回路部材のばらつきなどで変動し、これがトラッキングゾーンの変動の要因となり、同一仕様の製品であるにも拘わらず測定結果にばらつきが発生し信頼性に問題を生じていた。

更に、広帯域の送信電磁波が媒質中のあらゆる点で様々な位相点において反射  
25 し、この多数の反射波の合成波により受信波が形成されるが、広帯域であるが故に、受信波形の周期と、媒質の比誘電率や比抵抗とに相関性を持たせることがで

きず、地表面上の特定の測定点で観測される単一の受信波形のみを解析することによつては、媒質の比誘電率を測定することができないものであった。

本願発明者は、送信波の帯域を非常に狭く（例えば、中心周波数1GHzの場合で帯域20MHz程度）するとともにパルス状に輻射し、かかる狭帯域の電磁波の反射波を受信アンテナで検知し、この検知信号を新規な検波回路によって検波することにより、受信波形の周期と媒質の比誘電率との間に所定の相関関係が生じることを見出した。即ち、パルス状の狭帯域電磁波は、媒質中を伝搬する過程で、媒質の比誘電率に応じた伝搬速度と減衰率とを有する。さらに、媒質中のあらゆる点で反射波が発生し、該多数の反射波の合成により受信波が形成される。

ここで、媒質の深度方向の単位距離毎に反射波が発生すると仮定すると、各反射波は媒質の比誘電率に応じた速度で媒質中を伝搬するから、地上の受信アンテナで受信される各反射波には、媒質の比誘電率に応じて所定の位相のずれが生じる。かかる多数の反射波の合成からなる受信波形には、探査対象の各深度毎の平均比誘電率に対応する信号成分が含まれる。例えば、この受信波形の各位相毎の周期が、探査対象の深度毎の平均誘電率に応じて変化するものとなったり、受信波の各位相のノイズ成分が、探査対象中の深度毎の平均誘電率に対応するものとなる。したがって、これらの信号成分に基づいて、探査対象中の深度毎の誘電率変化を観測できる。

しかし、誘電率変化が観測できたとしても、その変化の基準が存在しなければ受信波形から探査対象の深度毎の比誘電率を求めることができない。

本発明は、このような事情に鑑みて提案されるもので、探査対象の深度毎の誘電率を受信波形中に観測し得る電磁波探査機において、探査に先だって比誘電率の校正を容易に行うことのできる電磁波探査機の比誘電率校正方法を提供することを目的としている。また同時に提案される本発明は、この比誘電率校正方法を効果的に実施することのできる電磁波探査機を提供することを目的としている。

## 発明の開示

前記目的を達成するために提案される本発明の比誘電率校正方法は、電磁波を  
輻射する送信アンテナと、輻射された電磁波の反射波を受信する受信アンテナと、  
該受信アンテナの検知信号に基づいて受信信号を生成する受信ユニットと、前記  
5 受信信号を処理して解析用信号を出力する信号処理部とを備え、該信号処理部は、  
周波数変換によって受信信号を信号周期の異なる解析用信号に変換する周期調整  
部を有し、該周期調整部は周波数変換定数の設定手段を有する電磁波探査機にお  
いて、送信アンテナから電磁波を対空輻射したときの前記解析用信号の周期を、  
基準比誘電率に応じて予め定められた基準時間と一致させるように前記設定手段  
10 を調節するものである。なお、上記本発明は、探査対象中の深度毎の平均比誘電  
率と、解析用信号波形の各位相毎の平均周期とが、所定の相関関係を有する電磁  
波探査機に好適に適用することができ、より好ましくは、解析用信号波形の各位  
相毎の平均周期が、探査対象中の深度毎の平均比誘電率の平方根にほぼ比例する  
関係となる解析用信号波形を生成する信号処理回路を備える電磁波探査機に用い  
15 るのが良い。また、上記本発明は、送信アンテナや送信回路の最適化により狭帯  
域のパルス状電磁波を輻射するものに好適に採用できる。なお、上記本発明にお  
いて、受信ユニットは高周波回路によって主構成することができ、受信ユニット  
の主たる機能は、反射波の検波を行うものとすることができ、この受信ユニット  
の出力信号である受信信号は、KHz帯～十数MHz帯とするのが良い。また、  
20 受信ユニットと信号処理部（信号処理回路）とは、別の基板上に回路構成されて  
いてもよく、同一基板上に一体的に回路構成されていてもよい。

上記本発明における周波数変換とは、解析用信号と時間軸との対応を変化させ  
ることにより等価的に周波数を変化させる処理を総称するもので、解析用信号自  
体を時間軸方向へ変化させる処理や時間軸の単位時間を変化させる処理などを全  
25 て包含する。例えば、解析用信号がアナログ信号の場合、ダブルバランスドミキ  
サ (Double Balanced Mixer) などの周波数変換回路によって解析用信号を周波数

変換することができる。また、解析用信号が、受信信号をA-D変換してなるデジタルデータの集合で表される場合には、実際のサンプリングタイミングとは異なるタイミングでサンプリングされたものとして上記デジタルデータ群を取り扱うことによって（言い換えれば、各サンプリングデータ間の単位時間を変化させることによって）、解析用信号が周波数変換されることとなる。上記周波数変換定数の設定手段は、適宜の構成を採ることができ、例えば周期調整手段が上記のような周波数変換回路により構成される場合は上記設定手段は回路内に設けられた可変抵抗器や可変コンデンサなどの回路構成素子により構成でき、また、周期調整手段が所定のプログラムに基づいて動作するマイクロコンピュータにより構成される場合は上記設定手段は、書き換え可能なメモリ、該メモリ内のデータを書き換えるプログラム、並びに、データ入力のためのスイッチ等の入力手段により構成できる。

探査機における比誘電率の校正とは、当該比誘電率を有する媒体における受信信号の信号周期と時間軸との対応を取ることである。

ここで、媒体の比誘電率を  $\epsilon_r$ 、空気中の電磁波の伝搬速度を  $C_0$  とすると、電磁波の伝搬距離（深度） $D$  と時間  $t$  との間には、一般的に次式の関係が成立する。

$$D = \frac{t \times C_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

則ち、伝搬時間を求めることにより伝搬距離（深度）が求まる。

ところで、受信信号に基づく解析用信号を、横軸を時間軸、縦軸を振幅軸とした受信波形として画面表示させた場合、比誘電率の校正が行われない状態では、解析用信号の各位相毎の周期と画面上における時間軸との間に相関関係があっても、基準が存在しないため、例えば、表面反射波と埋設物体における反射波とを含むような解析用信号を画面表示させた場合、波形形状は判別できるものの、表面反射波と物体反射波との間の時間に基づいて、埋設物体までの距離（深度）を

求めることができない。また、基準となる比誘電率における受信信号の周期が定まらないため、異なる周期の受信信号に対して比誘電率を特定できず、物性解析ができない。則ち、信号処理のための基準となる時間が定まらないため、解析用信号の周期と信号処理部における時間軸との対応が取れない。

5       そこで、所定の比誘電率を有する媒体を通過した反射波に基づく解析用信号について、その周期と時間軸との対応を校正することにより、画面に表示された解析用信号波形の任意点間の伝搬時間を時間軸から得ることができる。これにより、信号処理部における解析用信号の周期と時間軸との対応が取れ、校正された時間軸に基づいた信号処理を行うことが可能となる。

10       前記本発明の校正方法によれば、電磁波を対空輻射したときの解析用信号の周期（表面反射波の周期）を基準時間と一致させるように周期調整部の設定手段を調整設定するものであり、これによって、基準比誘電率の媒体で校正された状態を等価的に作り出している。

15       この校正方法によれば、校正のための特別な装置や手続きを必要とせず、対空輻射を行った場合の解析用信号を表示させて周期調整を行うだけで校正操作を行うことができ、探査現場において正確且つ容易に校正を行うことができる。

20       また、この校正方法によれば、探査機の内部回路の温度変動などに起因して解析用信号の周期に変動が生じても、変動状態における解析用信号の周期を基準時間に一致させるように校正が行われる。これにより、温度などが急激に変動しない限り、解析用信号における比誘電率に応じた周期同士の変動誤差が相殺されて誤差の少ない測定を行うことができる。また、対空輻射の解析用信号を用いて校正を行うので、送信アンテナに対する誘電体の影響を極力除くことができ、一層正確な校正が可能となる。

25       解析用信号の周期を基準時間と一致させる場合、表面反射波を用いて周期を一致させるのが良い。ここに対空輻射時の表面反射波とは、送信アンテナから輻射された電磁波による最初の反射に基づくもので、例えば、アンテナ基板などの反



射を含むものである。

前記本発明において信号処理部が、媒体の比誘電率に応じて周期の異なる受信信号に基づいて、周期と比誘電率との間に所定の関係を有する解析用信号を生成出力する構成とすることができる。

- 5 比誘電率の異なる媒体を通過する電磁波は通過媒体に応じて伝搬速度の変動を生じ、これに伴って受信信号には媒体の比誘電率に応じた周波数変動（周期変動）が生じる。

そこで、例えば、受信信号の周期と比誘電率の平方根との間に線型性を持つように信号処理部で処理を施した解析用信号を出力させることができる。

- 10 これにより、解析用信号の周期と比誘電率との相関関係が明確になり、解析用信号に基づいて各深度毎の平均比誘電率を算出するとともに、算出された平均比誘電率に基づいた深度解析を容易に行えるようになる。

- 同時に提案される本発明は、前記本発明の比誘電率校正方法における基準時間の導出方法であって、送信アンテナから所定の比誘電率および校正距離を有する  
15 基準誘電体に向けて電磁波を輻射し、解析用信号に含まれる基準誘電体表面および校正距離における反射波間の時間を電磁波が基準誘電体内において校正距離を伝搬する時間に一致させるように前記設定手段を調節し、この後、送信アンテナから対空輻射を行ったときの前記解析用信号の周期を基準時間として定めるものである。

- 20 ここに、電磁波が基準誘電体内において校正距離を伝搬する時間とは、基準誘電体の表面と校正距離との間を電磁波が往復する時間を指す。

この基準時間の導出方法によれば、基準誘電体によって校正を行い、この校正された状態で対空輻射を行った場合の反射波の周期を、校正のための基準時間として利用するものである。

- 25 前記した本発明の校正方法は、このようにして得られた基準時間を用いるもので、基準誘電率で校正された状態において、対空輻射時における解析用信号の周

期を校正のための基準時間として利用した点に本発明の優れた着想を認めることができる。

同時に提案される本発明は、電磁波を輻射する送信アンテナと、輻射された電磁波の反射波を受信する受信アンテナと、該受信アンテナの検知信号に基づいて  
5 受信信号を生成する受信ユニットと、該受信信号を処理して解析用信号を出力する信号処理部と、基準比誘電率値を含む計測条件データを記憶する記憶手段と、演算手段とを備え、信号処理部は周波数変換によって受信信号を信号周期の異なる解析用信号に変換する周期調整部を有し、該周期調整部は周波数変換定数の設定手段を有する電磁波探査機である。かかる本発明の電磁波探査機において、前  
10 記設定手段は、送信アンテナから電磁波を対空輻射したときの前記解析用信号の周期を、基準比誘電率に応じて予め定められた基準時間と一致させるように調節可能に構成することができる。さらに、前記信号処理部は、探査における受信信号を比誘電率に応じて校正された解析用信号として生成し、演算手段は記憶手段に記憶された計測条件データに基づいて解析用信号に所定の演算を施した解析デ  
15 ータを生成する構成とすることができる。

この電磁波探査機において前記した比誘電率の校正方法を用いることができる。

信号処理部の所定の回路定数の最適化を図ることなどによって比誘電率の校正を行うことにより、当該比誘電率における解析用信号と時間軸との対応が校正され、校正後は、信号処理部は受信信号に対して設定手段の設定に応じた周期調整  
20 処理を施した解析用信号を生成出力する。この解析用信号の周期は、地中などの媒体の有する比誘電率と一定の関係を有するものとなる。

生成された解析用信号は演算手段に送られ、記憶手段に記憶された計測条件データに基づいて必要な演算が施されて探査結果の表示などに必要な解析データが生成される。計測条件データとしては、基準比誘電率値や探査結果の表示モード  
25 に対応して解析用信号に加えるべき演算処理プログラムなどのデータが含まれる。

また、前記信号処理部が、上記比誘電率の校正方法を行う電磁波探査機と同様

に、周期と比誘電率との間に所定の関係を有する解析用信号を生成出力する構成とすることも可能である。

#### 図面の簡単な説明

5 図 1 は、本発明の実施例に係る電磁波探査機の要部構成を示すブロック図である。

図 2 は、比誘電率が低い媒体における受信信号のサンプリング状態を示す説明図である。

10 図 3 は、比誘電率が高い媒体における受信信号のサンプリング状態を示す説明図である。

図 4 は、図 1 に示す探査機の表示器を用いて、本発明の比誘電率の校正を行う手順を示す説明図である。

図 5 は、基準誘電体（乾燥まさ土）を示す正面図である。

15 図 6 は、基準誘電体における解析用信号に基づいて校正距離を一致させる手順を示す説明図である。

図 7 は、対空輻射時における解析用信号の表面反射波の周期を基準時間に一致させる手順を示す説明図である。

図 8 は、表面波処理を行うことによって、図 6 に示す校正距離を一致させる手順を示す説明図である。

20 図 9 は、基準誘電体（エポキシ樹脂）を示す正面図である。

図 10 は、基準誘電体における解析用信号に基づいて校正距離を一致させる手順を示す説明図である。

図 11 は、従来の、解析用信号におけるトラッキングゾーンの説明図である。

25 図 12 は、トラッキングゾーンの変動によって断面画像に生じる変動を示す説明図である。

### 発明を実施するための最良の形態

本発明において、周期調整部で周波数変換によって受信信号の周期を変化させる方法としては種々のものが挙げられる。

例えば、受信信号を固定した状態で、受信信号に対応させる時間軸を周期調整部  
5 部の設定手段により調整する。これにより、受信信号と時間軸との対応を校正し、結果的に受信信号に対して周波数変換の施された解析用信号を生成することができる。

一方、時間軸を固定した状態で、設定手段の設定に応じて周期調整部により受信信号自体に周波数変換（周期変換）を施すこともでき、これにより、受信信号  
10 と時間軸との対応を校正した解析用信号を生成することができる。

受信信号自体に周波数変換を施す方法としても種々のものが挙げられる。

例えば、受信信号に対してヘテロダイン処理を施すことにより周波数を変化させた解析用信号を得ることができる。

また、アナログ・デジタル変換によって受信信号を一旦デジタル受信データに変換し、変換された受信データにデジタル処理を施すことによって周波数を変化  
15 させた解析用信号とすることも可能である。

ここで、本発明において、送信アンテナから輻射される送信信号、並びに、受信アンテナの検知信号は、数百MHz～略1GHzのマイクロ波帯に属するものとするのが好ましいが、これによれば、受信アンテナの検知信号自体に直接信号  
20 処理を施すことが困難である。

そこで、例えば、所定周期毎に繰り返し受信される受信アンテナ検知信号のサンプリングポイントを徐々にずらしながら所定回数だけサンプリングを繰り返して受信信号を生成する一連の処理を、受信ユニットで繰り返して行うように構成することもできる。

25 則ち、繰り返し受信される受信アンテナ検知信号の振幅をサンプリングしながらピーク値ホールド或いは平均値ホールドなどを行い、これらのピーク値或いは

平均値を包絡値検波することにより元の受信アンテナ検知信号に対して周波数を低減させた信号処理に適した受信信号を受信ユニットで生成することが可能である。そして、生成された受信信号に対して信号処理部において校正のための周期調整を行うことができる。

- 5      なお、サンプリングのための三角波信号（鋸歯状波）を含むパルス状の制御信号をパルスコントローラより出力し、この制御信号により受信信号のサンプリングを行うことができる。さらに上記制御信号における三角波信号の立ち上がり時間を、検知信号の電位変化量（ $\Delta V$ ）に連動して変動させることにより、媒質の比誘電率が大きく受信信号の周期が大きい場合には比較的長い時間幅（観測窓）
- 10      で受信波形を観測することができ、媒質の比誘電率が小さく受信信号の周期が小さい場合には比較的短い時間幅（観測窓）で受信波形を観測できる。その他、送信波や受信波の周波数近傍で周波数特性が比較的大きく変動するダイオード（例えば、ショットキーバリアダイオード）によるダイオードブリッジを用い、該ダイオードの応答特性と周波数特性との相関作用により、各サンプリングポイント
- 15      を変動させ得る受信回路を構成することによっても、検知信号の $\Delta V$ の変化を敏感に検知しつつ受信信号のサンプリングを行い、媒質の比誘電率が大きく受信信号の周期が大きい場合には比較的長い時間幅（観測窓）で受信波形を観測することができ、媒質の比誘電率が小さく受信信号の周期が小さい場合には比較的短い時間幅（観測窓）で受信波形を観測できる。
- 20      ところで、前記したように所定比誘電率によって校正を行った場合、異なる比誘電率を有する媒体を通過した解析用信号については、比誘電率に応じた異なる周期を呈する。

- そこで、予め測定によって解析用信号の周期と実時間との関係を示す補正データテーブルを作成しておくことにより、周期に応じた補正周期を換算することで
- 25      解析用信号から時間（深度）を求めることができる。また、信号処理部に補正データテーブルを保有することにより、受信信号の周期と実時間とが所定の関係を

有するように信号処理を施した解析用信号を生成出力することも可能である。

次に、本発明の比誘電率校正方法における基準時間の導出方法を具体的に説明する。尚、説明中、電磁波が基準誘電体内において校正距離を伝搬する時間とは、基準誘電体の表面と校正距離との間を電磁波が往復する時間を指す。

- 5      基準の比誘電率  $\epsilon_r$  を有する基準誘電体において校正距離  $D$  だけ電磁波が往復伝搬するのに要する時間  $t$  は次式で示される。但し、大気中の電磁波の伝搬速度を  $C_0$  とする。

$$t = 2 \times \frac{D \cdot \sqrt{\epsilon_r}}{C_0}$$

- 10      そこで、基準誘電体に電磁波を輻射したときの反射波において、基準誘電体表面における反射波と校正距離における反射波との間の時間を校正距離  $D$  に要する伝搬時間  $t$  と一致させるように設定手段を調整する。これにより、信号処理部における解析用信号と時間軸との対応が校正される。この校正状態において、対空輻射を行い反射波の周期を求めることにより基準時間が定まる。

- 15      このようにして基準時間が求められた後は、対空輻射を行った場合の周期をこの基準時間と一致させるだけで、等価的に基準比誘電率で校正された状態を再現することができる。

- 20      基準時間の導出は、電磁波探査機ของผู้사용者側で行うことも可能であるが大掛かりな基準誘電体を必要とする。そこで、基準時間の導出は基本的に探査機を提供する製造者側で行うものとし、探査機に交換して取り付けることのできる各アンテナ毎に基準時間を求めてユーザー側に明示しておけば、ユーザー側で正確、且つ、容易に比誘電率の校正を行うことができる。

前記基準誘電体としては、比誘電率  $\epsilon_r = 1.2$ 、校正距離 50 cm の「乾燥まさ土」などが安価で実用的であるが、他の比誘電率を有する媒体を基準誘電体として用いても良い。なお、まさ土とは、風化花崗岩からなる礫質土である。

ところで、「乾燥まさ土」を基準誘電体として用いる場合、まさ土内部の湿度が影響して比誘電率変動する虞がある。そこで、湿度の影響を受けにくく比誘電率の安定したエポキシ系樹脂材（比誘電率＝3.5～4.5）やメラミン系樹脂材（比誘電率＝6.5～7）などの基準誘電体を用いて「乾燥まさ土」の比誘電率の管理を行うことが必要となる。

例えば、所定の校正距離を有するエポキシ樹脂を基準誘電体として用いて「乾燥まさ土」の比誘電率の管理を行う場合、まず、エポキシ樹脂において校正距離（校正時間）を一致させるように校正を行う。この校正手順は、前記した「乾燥まさ土」における校正と同様である。

次いで、「乾燥まさ土」において校正距離（校正時間）を測定する。この測定値が所定の誤差範囲内であることを確認することにより、「乾燥まさ土」の比誘電率の管理を行うことが可能である。

前記した基準誘電体として、例えば、比誘電率が12の「乾燥まさ土」を用いて50cmの校正距離を持つ構造とする場合、木材などで成した箱の内部に乾燥まさ土を充填し、箱の上面にアクリル板などを設けて「まさ土」の状態を見易くした構造とすることができ、この構造において目的の校正距離を呈するように形成することができる。

また、比誘電率の異なる媒体を適宜組み合わせて等価的に所定の比誘電率および校正距離を有する基準誘電体を形成することも可能である。

次に、媒体の比誘電率に応じて周期の異なる受信信号に対して、周期と比誘電率との間に所定の関係を有する解析用信号を信号処理部で生成出力する構成について説明する。

媒体を通過する電磁波の周期Tは、媒体の比誘電率 $\epsilon_r$ 、大気中の電磁波の伝搬速度 $C_0$ 、および、電磁波の周波数fを用いて次式で示される。

$$T = \frac{1}{f} = \frac{\lambda \cdot \sqrt{\epsilon_r}}{C_0}$$

従って、例えば、比誘電率  $\epsilon_r = 1.2$  の媒体における周期は比誘電率  $\epsilon_r = 4.5$  の媒体における周期の略  $1/2$  倍であり、受信信号には媒体の比誘電率に応じた周波数変動（周期変動）が生じる。

そこで、比誘電率  $\epsilon_{r0} = 1.2$  における解析用信号の周期を  $T_0$ 、比誘電率  $\epsilon_r = 4.5$  における解析用信号の周期を  $T$  とすると、例えば、

$$\frac{T}{T_0} = \frac{\sqrt{\epsilon_r}}{\sqrt{\epsilon_{r0}}}$$

の関係が成立するように、受信信号に対して信号処理を施した解析用信号を信号処理部で生成することができる。則ち、解析用信号と比誘電率の平方根との間に線型性を持たせた解析用信号を生成することが可能である。

10 この処理により、解析用信号の周期と比誘電率との対応が明確になり、特に、断面画像として表示させる場合の信号処理が極めて容易になる。

次に、図面を参照して本発明による電磁波探査機の実施例を説明する。

電磁波探査機 1 は、図 1 に示すように、アンテナユニット A T、信号処理部 10、演算手段 11、記憶手段 12 および表示部 13 を備えている。

アンテナユニット A T は、所定の周期毎に電磁波を輻射する送信アンテナ T と、輻射された電磁波の反射波を受信する受信アンテナ R とを隣接させて一体的に内蔵している。

信号処理部 10 は、送信アンテナ T へインパルスやバイアス電圧を供給する送信ユニット 10b と、受信アンテナ R で捕らえた検知信号に対して必要な前置処理を行う受信ユニット 10c と、受信ユニット 10c から伝送される受信信号に対して周波数変換による周期調整を施した解析用信号を生成する周期調整部 10d と、当該周期調整部 10d の周波数変換定数を可変設定する設定手段 10e とを備えている。尚、信号処理部 10 の各構成部は信号処理回路 10a と接続され



ており、必要な制御信号などを受けて動作を行う。

演算手段 11 はデジタル処理を行うもので、アナログ・デジタル変換部を有し、信号処理部 10 から伝送されるアナログの解析用信号をデジタルデータに変換する機能を備えている。そして、周期調整部 10 d から伝送される解析用信号に対して、記憶手段 12 に記憶されている計測条件データに基づく演算処理を施した解析データを生成する。

例えば、探査機 1 で設定された表示モードに応じて、解析用信号に対して対応した演算処理を施した解析データを生成し、生成された解析データに基づいて探査結果の表示を行わせる。

また、表示部 13 は演算手段 11 から伝送される演算処理の施された解析データを受けて表示制御を行う表示コントローラ 13 a と、表示コントローラ 13 a から出力される表示信号に基づいて表示を行う表示器 13 b と、表示器 13 b の表示位置調整などを行う表示調整部 13 c とを備えている。

周期調整部 10 d は、受信ユニット 10 c から伝送されるアナログの受信信号を受けて、設定手段 10 e の設定に応じて受信信号の周期を変化させることにより時間軸との対応を変化させる動作を行う。

本実施例では、これらの調整処理をアナログ処理を主体として行っている。

則ち、周期調整部 10 d から出力される解析用信号を演算手段 11 を介して表示部 13 で表示させ、設定手段 10 e の半固定抵抗器（不図示）を調整することにより解析用信号の時間軸方向への掃引速度を変化させて周期調整、則ち、比誘電率の校正を行っている。

本実施例の探査機 1 では、比誘電率が略 3 ～ 50 の媒体における探査を中心としており、比誘電率の平方根と受信信号の周期との間に線型性を有した解析用信号を必要とする。また、受信信号の周波数が略 500 MHz ～ 1.5 GHz であるため、受信信号に直接信号処理を施すのが困難である。

このため、本実施例では、周期調整部 10 d の処理に先立って、受信信号の周

波数を低減させ、且つ、通過媒体の比誘電率に応じた周期を有する解析用信号を得るための前置処理を受信ユニット 10cで行っている。

受信ユニット 10cの動作を図 2 および図 3 を参照して説明する。

対空輻射による反射波を受信して、受信信号を所定の時間軸と振幅軸で受信波形として表示すると、図 2 に示すような減衰波形となる。一方、比誘電率  $\epsilon_r$  の媒体における反射波を受信した場合、電磁波の伝搬速度が大気中に比べて低下するので、図 2 と同一時間軸を用いると、図 3 に示すように減衰までの所要時間が長い受信信号となる。

そこで、受信ユニット 10cでは、ショットキーバリアダイオード（以下、SBDと記載）の周波数特性およびオン特性の非線形部分を積極的に組み合わせて利用することにより、媒体の比誘電率と周期との間に所定の関係を持つ解析用信号を前置出力させている。

則ち、SBDの特性によって受信信号の時間  $t$  に対する出力レベル  $V$  の傾斜 ( $\Delta V / \Delta t$ ) に応じた時間間隔毎に受信信号のサンプリングを行いつつピーク値ホールド或いは平均値ホールドを行い、所定回数の受信信号を受信し終えた時点で周波数の低減された解析用信号を生成させる一連の処理を繰り返す動作を行なわせている。

この構成の探査機 1 で地層の探査テストを行ったところ、媒体の比誘電率と前置生成した解析用信号の周期との間に、比誘電率の平方根に略比例した線型性が得られることが分かった。

則ち、受信信号の周期が短い場合は生成される周波数の低減された解析用信号の周期も短く、逆に、受信信号の周期が長い場合は生成される解析用信号の周期も長くなるように前置処理を施すことが可能となる。

また、図 2, 3 に示すように、SBDの特性を用いて受信信号の周期に応じてサンプリングの時間間隔 ( $t_1, t_2$ ) を変化させることにより、比誘電率の大きい媒体における受信信号においても、減衰信号の途中でサンプリングが終了す

るような不都合が生じず、しかも、周波数が低減された解析用信号が得られた。

尚、本実施例では、信号処理部 10 の信号処理回路 10 a から伝送される制御信号を受信ユニット 10 c で受けてアナログ処理によって受信信号を生成しているが、デジタル処理によって受信信号を生成することも可能である。

5      次に、探査機 1 において比誘電率の校正を行う方法を述べる。

まず送信アンテナ T から電磁波を対空輻射し、受信アンテナ R で受信され信号処理部 10 で生成された解析用信号を図 4 に示すように表示器 13 b に表示させる。

10      この解析用信号における表面反射波  $W_0$  の周期を、基準比誘電率に応じて予め定められた基準時間  $t$  と一致させるように設定手段 10 e を調節する。これにより、基準比誘電率における解析用信号の周期と時間軸との対応が取られて比誘電率の校正が完了する。

15      比誘電率の校正を行った後に、解析用信号  $W$  の表面反射波  $W_0$  の振幅の第 1 ピーク点  $P_0$  を時間軸の始点（左端）に一致させるように表示調整部 13 c を調整設定する。これにより、解析用信号  $W$  の起点を送信アンテナ T から輻射される電磁波と略一致させて探査解析における解析用信号の起点を明確にしている。

以上の校正および調整によって、探査機 1 の比誘電率の校正が行われ探査準備が整う。

20      このようにして比誘電率の校正が行われると、以降は、受信アンテナ R で受信された受信信号に対して、設定手段 10 e の設定に応じて周期調整部 10 d で周波数変換が施された解析用信号が生成され、生成された解析用信号に演算手段 11 で演算処理を施した解析用信号を用いて探査解析処理が行われる。

25      言い換えれば、比誘電率  $\epsilon_r = 12$  の媒体における反射波を受信した場合には、表示器 13 b で表示される解析用信号の周期と時間軸との対応が取れ、信号処理部 10 の信号処理における時間の基準が明確になる。

尚、本発明の比誘電率の校正は極めて容易であるので、例えば、探査作業を所

定時間行う毎に校正を行えば、一層正確な探査を行うことができる。

更に、前記したように信号処理部 10 の受信ユニット 10c では、基準誘電率における解析用信号の周期を基準として、比誘電率の異なる媒体における受信信号に対しては比誘電率の平方根に略比例した周期の解析用信号を生成する。

- 5      演算手段 11 では、記憶手段 12 に記憶された計測条件データに応じて、探査結果を表示させるために必要な処理を解析用信号に施して解析データを生成して表示部 13 に送出する。

これにより、解析データに基づいて探査結果の判定に必要な種々の表示を行うことができ、埋設物の推定が容易になる。

- 10      尚、本実施例では、受信ユニット 10c において、比誘電率の平方根に略比例した周期の解析用信号を生成しているが、受信ユニット 10c で周波数を低減させた解析用信号を生成し、演算手段 11 において比誘電率の平方根に略比例した周期を有する解析データを生成させることも可能である。

- 15      このように、本発明の比誘電率校正方法によれば、特別な装置を用いることなく対空輻射時における解析用信号の周期を基準時間と一致させるだけで容易に行うことが可能であり、正確な探査を行うことができる。

また、比誘電率と深度との対応が明確なので断面画像から探査状態の推定が容易になり、探査の作業性が向上する。

- 20      また、輻射周波数の異なるアンテナユニット A T に交換して探査を行う場合でも、製造者側から予め提示された基準時間によって直ちに比誘電率の校正を行うことが可能である。

次に、前記した比誘電率の校正の基礎となる基準時間の導出方法を、図 5 を参照して説明する。尚、基準比誘電率において電磁波が校正距離を伝搬するのに要する時間（校正距離の往復伝搬時間） $t$  は、予め算出されているものとする。

- 25      図 5 に示すように、比誘電率  $\epsilon_r = 1.2$ 、校正距離  $d = 50 \text{ cm}$  の「乾燥まさ土」で成る基準誘電体 20 に探査機 1 のアンテナ A T を当接して電磁波を輻射し、そ

の受信信号を解析用信号として表示器 1 3 b に表示させる。

図 6 は、その解析用信号  $W$  を示すもので、表面反射波  $W_0$  と校正距離  $d$  (50 cm) における反射波  $W_1$  とが含まれている。

この表面反射波  $W_0$  と反射波  $W_1$  との間の時間  $t_0$  が校正距離の伝搬時間  $t$  と一致するように周期調整部 1 0 d の設定手段 1 0 e を調整する。これにより、比誘電率  $\epsilon_r = 1.2$  における比誘電率の校正、則ち、解析用信号  $W$  の周期と時間軸との校正が完了する。

このようにして比誘電率が校正された状態で対空輻射を行い、図 7 に示すように解析用信号の表面反射波の周期  $t$  を時間軸から読み取ることにより基準時間  $t$  を求めることができる。

尚、図 6 において、反射波  $W_1$  の起点が不明瞭な場合には、信号処理回路 1 0 a において解析用信号  $W$  の間の差信号成分を抽出する表面波処理（探査機 1 の有する表面波処理モード）を施すことによって容易に起点を把握できる。

則ち、図 8 に示すように、表面波処理の施された差信号成分を解析用信号  $W'$  として表示させ、基準誘電体 2 0 の校正距離  $d$  の位置（基準誘電体 2 0 の下面）に金属板などを当接離遠させる。このときの解析用信号  $W'$  を観測することにより反射波  $W_1'$  が変動要素として表示されるので起点を容易に把握することができる。従って、表面反射波  $W_0$  の起点と反射波  $W_1'$  の起点との間の時間を  $t_0$  に調整することにより、容易に校正を行うことができる。

前記したように、比誘電率の校正の基礎となる基準時間を「乾燥まさ土」などを用いた安価な基準誘電体 2 0 によって容易に導出することができる。

基準誘電体 2 0 は探査機 1 の製造者側で備えればユーザー側で特に備える必要はなく、取扱説明書などにより基準時間を明示するだけでユーザー側で確実な校正を行うことができる。

次に、「乾燥まさ土」を用いた基準誘電体 2 0 の比誘電率の管理方法について説明する。

図9に示すように、比誘電率  $\epsilon_r = 4.0$ 、校正距離  $d_1 = 20 \text{ cm}$  のエポキシ樹脂で成る基準誘電体21に探査機1のアンテナATを当接して電磁波を輻射し、その受信信号を解析用信号として表示器13bに表示させる。

図10は、その解析用信号Wを示すもので、表面反射波 $W_0$ と校正距離(50 cm)における反射波W1とが含まれている。

この表面反射波 $W_0$ と反射波W1との間の時間 $t_0$ を校正距離の伝搬時間 $t$ と一致させるように周期調整部10dの設定手段10eを調整する。これにより、比誘電率  $\epsilon_r = 4.0$  における比誘電率の校正、則ち、解析用信号Wの周期と時間軸とが校正される。

10 比誘電率  $\epsilon_r = 4.0$  に校正された状態で、前記した図5に示すように、比誘電率  $\epsilon_r = 1.2$ 、校正距離  $d = 50 \text{ cm}$  の「乾燥まさ土」で成る基準誘電体20に探査機1のアンテナATを当接して電磁波を輻射し、その受信信号を解析用信号として表示器13bに表示させる。

15 解析用信号Wには、前記図6に示すように表面反射波 $W_0$ と校正距離(50 cm)における反射波W1とが含まれている。

この表面反射波 $W_0$ と反射波W1との間の時間 $t_0$ を時間軸から読み取り、比誘電率  $\epsilon_r = 1.2$  における校正距離の伝搬時間 $t$ との誤差を求め、誤差が所定範囲以内であれば基準誘電体20の比誘電率が維持されているものとする。

20 しかし、誤差が所定値を超える場合には、基準誘電体20のまさ土を乾燥させるなどして誤差範囲内に収まるように調整する。

尚、解析用信号に含まれる表面反射波 $W_0$ と反射波W1との間の時間を時間軸から読み取る場合には、表示調整部13cを調整して時間を読み取り易い位置に解析用信号を移動させれば良い。

25 尚、前記図1では、信号処理部10および演算手段11を別の構成として示しているが、演算手段11を信号処理部10の信号処理回路10aと共通のCPUを用いた構成とすることも可能である。

また、周期調整部 10 d や設定手段 10 e の処理をデジタル化することも可能である。

次に、上記電磁波探査機の応用例として、媒質中（地中）の深度毎の平均比誘電率を測定する方法を説明する。

- 5      この比誘電率の測定方法は、次の（a）～（d）のステップを有することができる。

（a）電磁波の伝搬する波形の全てのピーク位置（正側ピークと負側ピーク）を検知するステップ。

- 10      （b）上記各ピーク位置の伝搬速度を、正側ピークと零クロス点、負側ピークと零クロス点として、各区間の時間幅を順次時間測定し、伝搬周期の変化、即ち、誘電率変化を、次式

比誘電率 = （測定周期時間／基準周期時間）<sup>2</sup> × 基準校正比誘電率から求めるステップ（なお、この比誘電率は区間毎の平均値）。

- 15      （c）各区間の伝搬周期の検証を、他区間を信号成分を零にして周波数スペクトル解析し、その正規化を最大スペクトルの二乗和（直流成分を除く）により計算し卓越周波数を求めて、 $\Delta f = \Delta \epsilon_r$ の相関を確認するステップ。

（d）各区間毎に求めた比誘電率をカラーバー分類して地層の深さ方向の誘電率分布図として表示装置に画面表示するステップ。

- 20      上記相関の確認は、具体的には、 $2^{10}$ 分解のフーリエ解析なら 512 点離散周期が得られる為、基準周期により得られる測定可能周期（5 msec 最大で 0.5 msec 基準周期なら 10 離散周期相当になるので誘電率比率の離散周期ずれを検定する）とのずれを検定し、誘電率との線形的な相関を評価する。

- 25      このようにして求めた誘電率（比誘電率）をカラーバー分類して地層の深さ方向の誘電率分布図・深度図として表示することにより、熟練した探査員でなくとも容易に地中の状態や誘電率や地層などを判別できるものとなる。さらに、上記

カラーバーにカーソルを設け、分析した区間距離をサーチすれば、区間の平均誘電率や、トータル深度等を同時観測することができ、電磁波探査を飛躍的に簡単化するとともに高機能化を図ることができる。

- 5      以上説明したように、本発明の比誘電率校正方法によれば、特別な装置を必要とせず、対空輻射によって得られた受信信号に基づく解析用信号の周期を基準時間に一致させるだけで所定の比誘電率における校正を直ちに行うことができ、探査現場における作業性が向上すると共に精密な探査を行うことが可能となる。

また、同時に提案される本発明の基準時間の導出方法によれば、基準誘電体を用いて容易に求めることが可能となる。

- 10      また、同時に提案される本発明の電磁波探査機によれば、本発明の比誘電率校正方法を効果的に実施することが可能となる。



## 請求の範囲

1. 電磁波を輻射する送信アンテナと、輻射された電磁波の反射波を受信する受信アンテナと、該受信アンテナの検知信号に基づいて受信信号を生成する受信  
5 ユニットと、前記受信信号を処理して解析用信号を出力する信号処理部とを備え、該信号処理部は、周波数変換によって前記受信信号を信号周期の異なる前記解析用信号に変換する周期調整手段を有し、該周期調整手段は周波数変換定数の設定手段を有する電磁波探査機において、

10 送信アンテナから電磁波を対空輻射したときの前記解析用信号の周期が、基準比誘電率に応じて予め定められた基準時間と一致するように、前記設定手段を調節することを特徴とする電磁波探査機の比誘電率校正方法。

2. 請求項 1 に記載の電磁波探査機の比誘電率校正方法において、

前記信号処理部が、媒体の比誘電率に応じて異なる周期を呈する受信信号に基づいて、周期と比誘電率との間に所定の関係を有する解析用信号を生成出力  
15 することを特徴とする電磁波探査機の比誘電率校正方法。

3. 請求項 1 に記載の電磁波探査機の比誘電率校正方法において、

前記基準時間は、前記送信アンテナから所定の比誘電率および校正距離を有する基準誘電体に向けて電磁波を輻射し、前記解析用信号に含まれる基準誘電体表面および校正距離における反射波間の時間を電磁波が当該基準誘電体内  
20 において校正距離を伝搬する時間に一致させるように前記設定手段を調節した後、前記送信アンテナから対空輻射を行ったときの前記解析用信号の周期であることを特徴とする電磁波探査機の比誘電率校正方法。

4. 電磁波を輻射する送信アンテナと、輻射された電磁波の反射波を受信する受信アンテナと、該受信アンテナの検知信号に基づいて受信信号を生成する受信  
25 ユニットと、前記受信信号を処理して解析用信号を出力する信号処理部と、基準比誘電率値を含む計測条件データを記憶する記憶手段と、演算手段とを備え、

前記信号処理部は周波数変換によって受信信号を信号周期の異なる解析用信号に変換する周期調整部を有し、該周期調整部は周波数変換定数の設定手段を有し、

5 前記設定手段は、送信アンテナから電磁波を対空輻射したときの前記解析用信号の周期を、基準比誘電率に応じて予め定められた基準時間と一致させるように調節可能に構成されていることを特徴とする電磁波探査機。

5. 請求項 4 に記載の電磁波探査機において、

前記信号処理部は探査における受信信号を比誘電率に応じて校正された解析用信号として生成し、

10 前記演算手段は記憶手段に記憶された計測条件データに基づいて前記解析用信号に所定の演算を施した解析データを生成することを特徴とする電磁波探査機。

6. 請求項 4 に記載の電磁波探査機において、

15 前記信号処理部は、媒体の比誘電率に応じて異なる周期を呈する受信信号に対して、周期と比誘電率との間に所定の関係を有する解析用信号を生成出力することを特徴とする電磁波探査機。

1/8

図 1

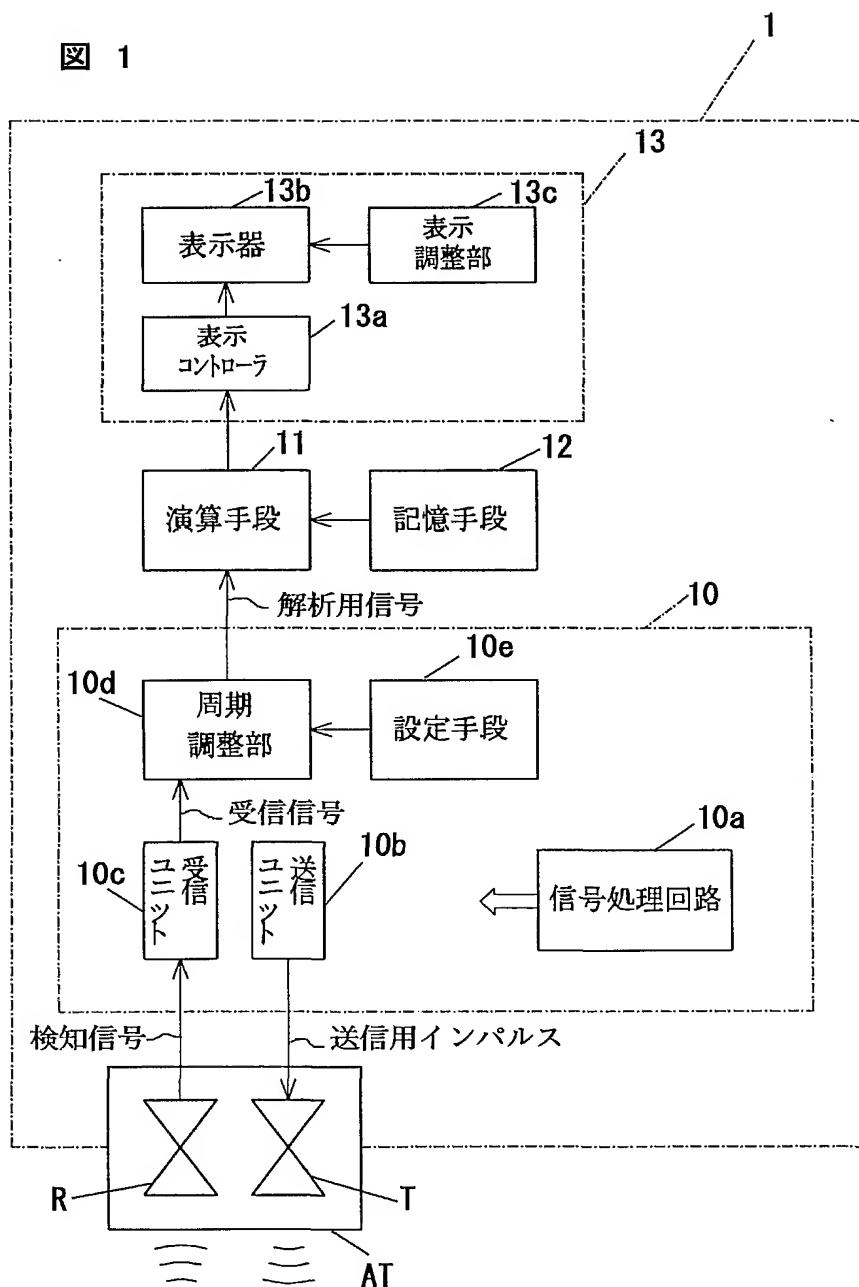


図 2

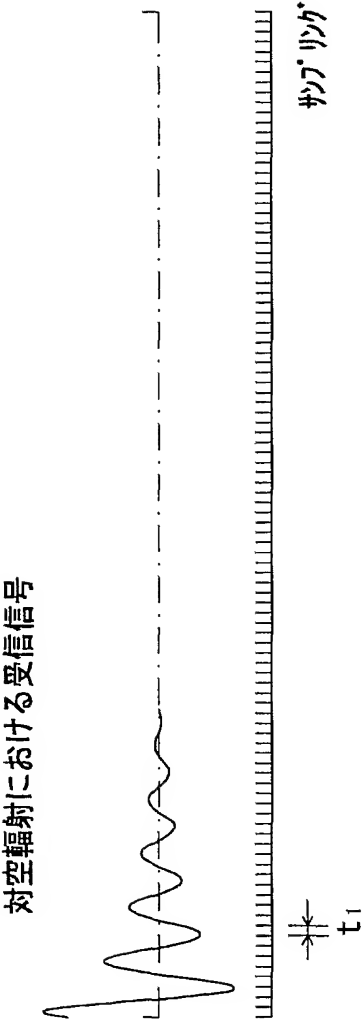


図 3

比誘電率  $\epsilon_r$  の媒体における受信信号

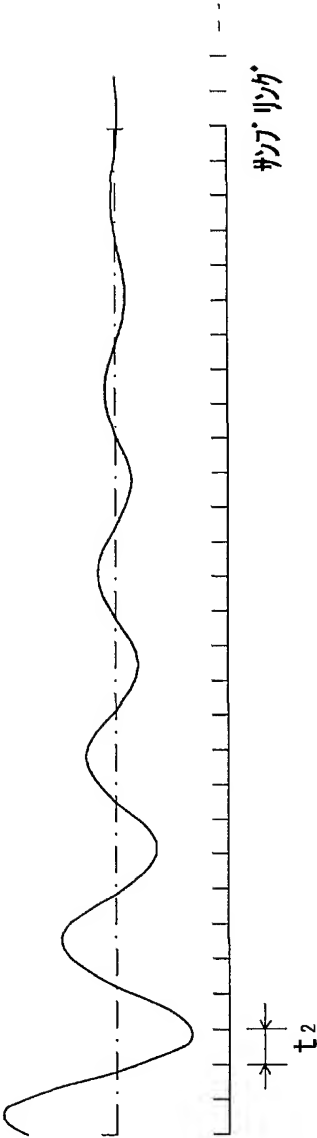


図 4

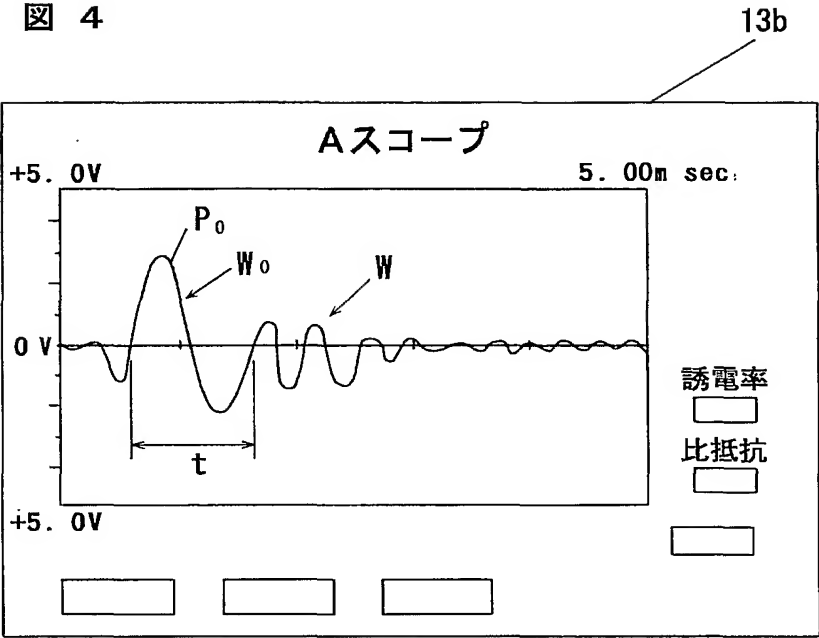


図 5

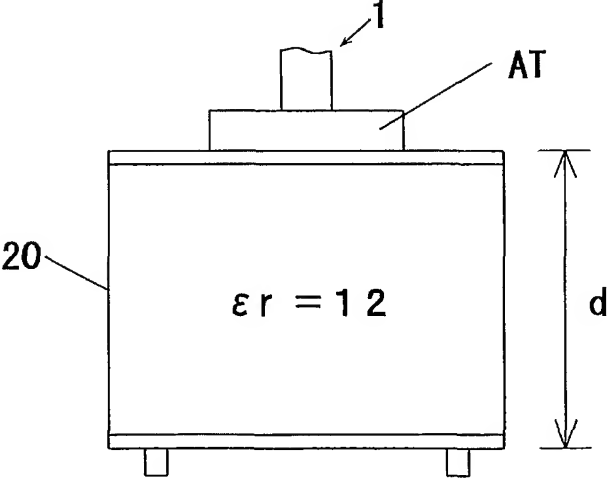


図 6

13b

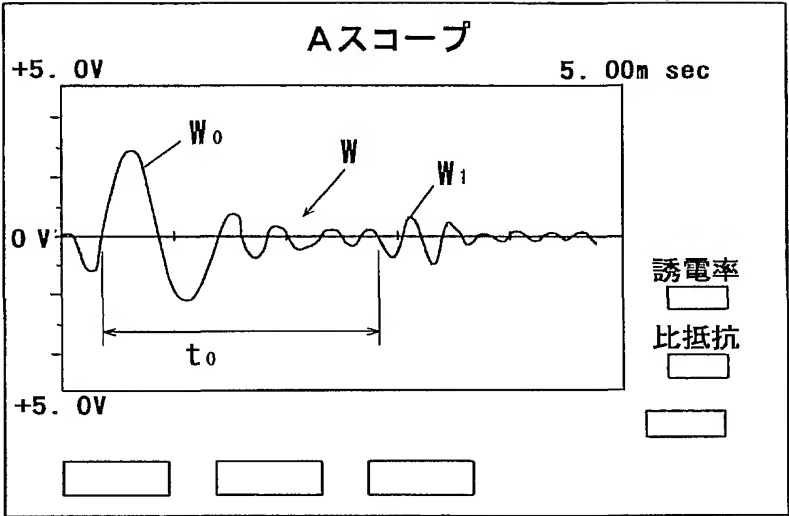


図 7

13b

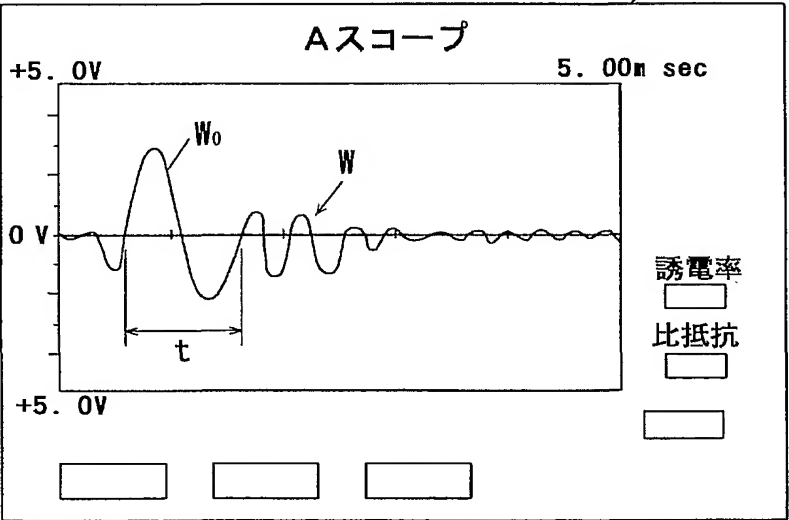


図 8

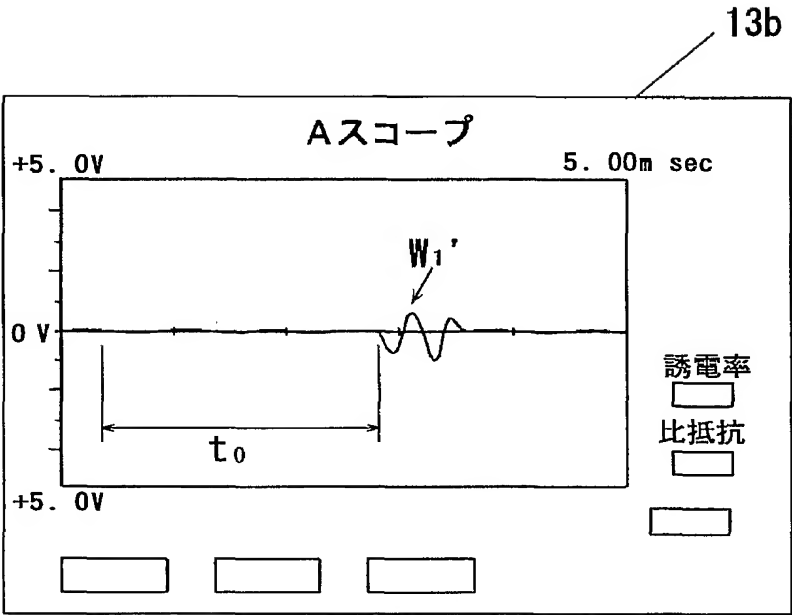


図 9

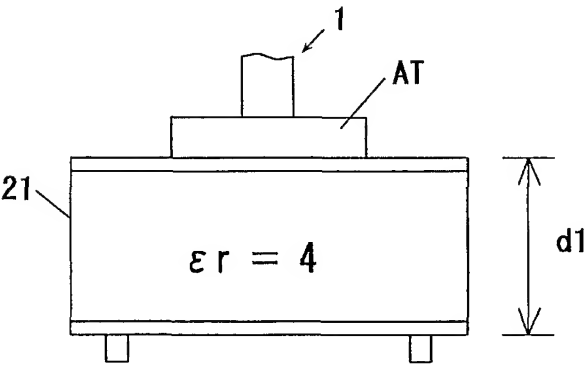




図 10

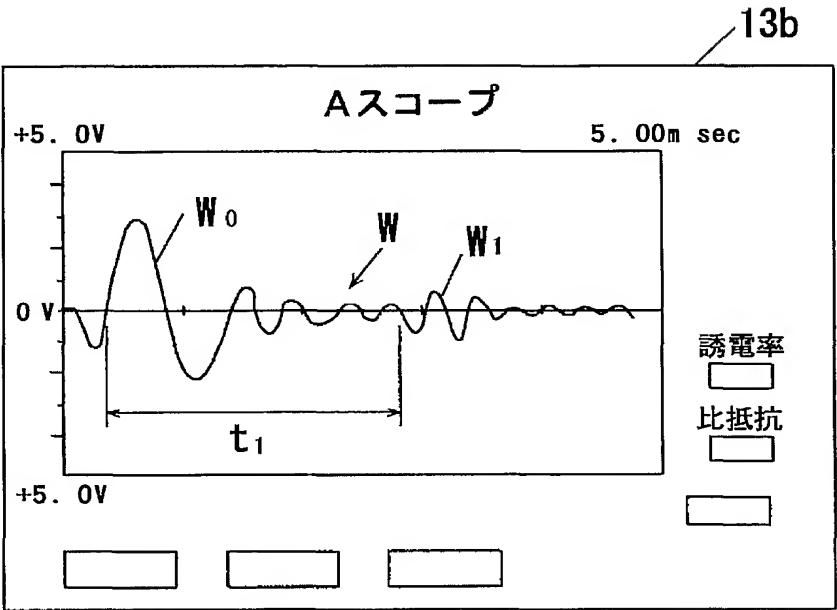


図 11

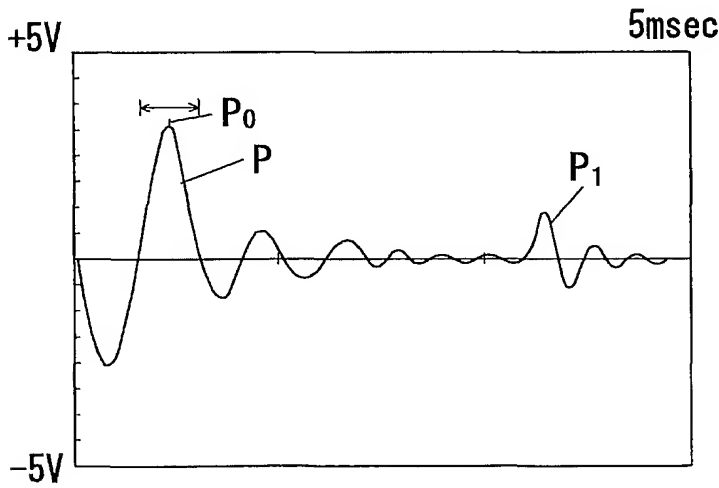
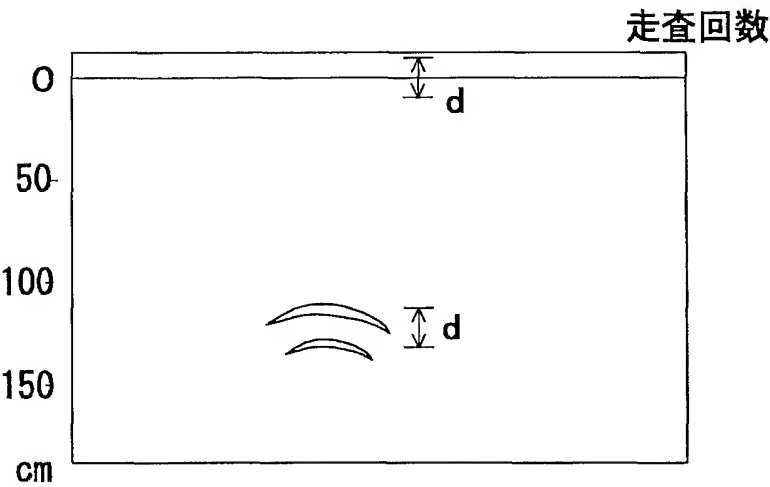


図 12



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/07328

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> G01V3/12, G01S13/88

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01V3/12, G01S13/88

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1992-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2001  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2001 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2001

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
JICST FILE (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                  | Relevant to claim No. |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 2000-221266 A (Osaka Gas Co., Ltd.),<br>11 August, 2000 (11.08.00),<br>Full text; Figs. 1 to 5 (Family: none)                    | 1-3, 4-6              |
| A         | JP 1-282490 A (Koden Electronics Co., Ltd.),<br>14 November, 1989 (14.11.89),<br>Full text; Figs. 1 to 8 (Family: none)             | 1-3, 4-6              |
| A         | JP 8-86881 A (Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.),<br>02 April, 1996 (02.04.96),<br>Full text; Figs. 1 to 5 (Family: none) | 1-3, 4-6              |
| A         | JP 2000-147111 A (Meisei Denki K.K.),<br>26 May, 2000 (26.05.00),<br>Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)                         | 1-3, 4-6              |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> | <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Date of the actual completion of the international search  
20 November, 2001 (20.11.01)

Date of mailing of the international search report  
04 December, 2001 (04.12.01)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01V3/12, G01S13/88

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01V3/12, G01S13/88

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |            |
|-------------|------------|
| 日本国実用新案公報   | 1992-1996年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2001年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2001年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2001年 |

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICSTファイル (JOIS)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                 | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| A               | JP 2000-221266 A (大阪瓦斯株式会社)<br>11. 8月. 2000 (11. 08. 00)<br>全文, 第1図-第5図 (ファミリーなし) | 1-3, 4-6         |
| A               | JP 1-282490 A (株式会社光電製作所)<br>14. 11月. 1989 (14. 11. 89)<br>全文, 第1図-第8図 (ファミリーなし)  | 1-3, 4-6         |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&amp;」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20. 11. 01

国際調査報告の発送日

04.12.01

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

本郷 徹

2J

8405

電話番号 03-3581-1101 内線 3250

| C (続き) . 関連すると認められる文献 |                                                                                  |                  |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*       | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                                | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
| A                     | JP 8-86881 A (三井造船株式会社)<br>2. 4月. 1996 (02. 04. 96)<br>全文, 第1図-第5図 (ファミリーなし)     | 1-3, 4-6         |
| A                     | JP 2000-147111 A (明星電気株式会社)<br>26. 5月. 2000 (26. 5. 00)<br>全文, 第1図-第4図 (ファミリーなし) | 1-3, 4-6         |